

# Puesta en funcionamiento del Sistema Mundial de Observación de los Océanos

por Mike Johnson\*

## Introducción

**La seguridad en el mar ha sido, desde la creación de la OMM, uno de los principales elementos impulsores de cara a las observaciones marinas coordinadas a nivel internacional.** Durante las dos últimas décadas ha aumentado sin cesar la demanda relativa a la ampliación de los sistemas de observación marina, con el fin de servir de apoyo a otras aplicaciones tales como la inicialización de sistemas de predicción meteorológica cada vez de mayor alcance y sofisticación, la gestión de zonas costeras, las actividades de optimización de la pesca comercial, el cálculo de rutas para barcos, la exploración y desarrollo de recursos del litoral, la prevención y limpieza de la contaminación y, más recientemente, la modelización y las predicciones climáticas. Estas aplicaciones requieren conjuntos de datos de observación y productos de predicción globales, tanto en lo que se refiere al océano como a la atmósfera que se encuentra por encima del mismo.

Los mencionados requisitos interdisciplinarios han necesitado, como nunca, del desarrollo de relaciones de trabajo más estrechas entre los oceanógrafos y los meteorólogos marinos, así como del desarrollo de una "aproximación sistémica" a la coordinación internacional de los esfuerzos de mejora nacionales. Por definición, un sistema mundial de observación traspasa las fronteras internacionales, con la posibilidad de

que puedan compartirse tanto beneficios como responsabilidades entre multitud de naciones. Percibiendo estas necesidades, la OMM y la Comisión Oceanográfica Intergubernamental (COI) de la UNESCO crearon, en 2001, la Comisión Técnica Mixta OMM/COI sobre Oceanografía y Meteorología Marina (CMOMM); actualmente esta Comisión ofrece un marco intergubernamental para la planificación y coordinación del sistema mundial. Mientras las naciones marítimas se preparan para volver a reunirse en 2009 en la CMOMM-III, es momento de reflexionar sobre el progreso alcanzado durante la última década y los desafíos que se nos presentan.

## Plan de ejecución

El capítulo referente al océano en el Plan de ejecución del Sistema Mundial de Observación del Clima (SMOC), que actúa como elemento de apoyo para la Convención Marco de las Naciones Unidas sobre el Cambio Climático (CMNUCC) (SMOC-92), proporciona la hoja de ruta para la puesta en marcha del sistema. El sistema de observación del océano, que se documenta en el SMOC-92, se compone a su vez de otros, y consiste en mediciones por satélite de la atmósfera y de la superficie del océano, prolongadas y de alta calidad, mediciones in situ de la superficie del océano y de las capas subsuperficiales del mismo y mediciones in situ de la atmósfera situada por encima del océano.

Cada subsistema componente aporta, de forma exclusiva, sus puntos fuertes y sus limitaciones; en conjunto, constituyen la red de sistemas. La Figura 1 muestra la fase inicial de esta red mundial de sistemas de observación de los

océanos. Además de las plataformas representadas en la Figura 1, existen dos componentes más que parecen fundamentales: los subsistemas de datos y asimilación así como la difusión de productos.

Aunque este sistema de referencia está diseñado para cumplir los requisitos relacionados con los aspectos climáticos, los servicios marinos en general mejorarán mediante las observaciones continuadas a escala mundial, a las que hace referencia el plan SMOC-92. El sistema apoyará la predicción meteorológica global, la predicción oceánica, tanto mundial como costera, los avisos de riesgos en la mar, la vigilancia del medio marino, las aplicaciones navales y multitud de otros usos no relacionados con el clima.

El sistema inicial de observación de los océanos desde el punto de vista climático depende de las mediciones espaciales globales de la temperatura de la superficie del mar, la altura de la superficie del océano, los vectores viento en superficie, el color del océano y el hielo marino. Estas aportaciones de los satélites de observación se detallan en otros planes internacionales, pero resulta esencial disponer de una colaboración estrecha y continuada con los sistemas in situ de cara a la observación integral del océano.

Una de las necesidades urgentes y fundamentales identificada por el SMOC-92 —aprobada por la CMNUCC y el Documento de referencia del Plan de ejecución a 10 años emitido por la Red mundial de sistemas de observación de la Tierra (GEOSS)— es la de lograr una cobertura global por medio de las redes in situ, que incluyen boyas fijas y a la deriva, estaciones dotadas de

\* Director de la Oficina de Observación del Clima de la NOAA y Coordinador de Área del Programa de Observaciones de la CMOMM

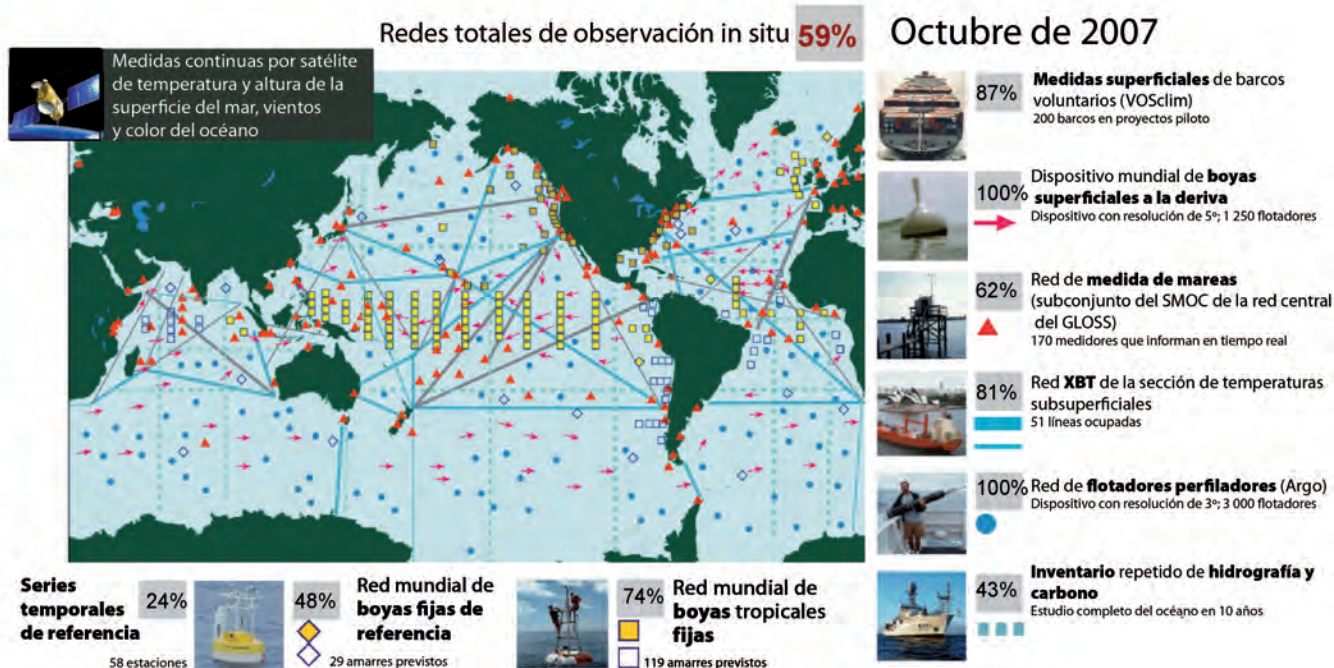


Figura 1 – Esquema del sistema compuesto inicial de observación del océano, incluyendo el estado actual frente a los objetivos del Plan de Ejecución del SMOC

mareógrafos, flotadores perfiladores y sistemas de buques. La coordinación de las aportaciones nacionales a la puesta en funcionamiento de estas redes es una tarea que corresponde al Área del Programa de Observaciones de la CMOMM (OPA). Dentro del capítulo del SMOC-92 dedicado al océano, la CMOMM se sitúa como el agente encargado de poner en marcha 21 de las acciones concretas. El Área del Programa de Observaciones de la CMOMM ha adoptado estos elementos como hoja de ruta para la puesta en funcionamiento. Este artículo ofrece un resumen del plan de trabajo del OPA e incluye aspectos como la coordinación con otros programas globales, a fin de respaldar el proceso de construcción del componente oceánico mundial de la Red mundial de sistemas de observación de la Tierra.

## Logro de una cobertura global a través de las redes in situ

El Área del Programa de Observaciones de la CMOMM incluye tres grupos de ejecución: el Grupo de cooperación sobre boyas de acopio de datos (GCBD), el Equipo de observaciones realizadas desde buques y el Grupo de expertos

del Sistema mundial de observación del nivel del mar. Desde la creación de la CMOMM en 2001 también ha existido cierto nivel de relación con el programa internacional Argo. Asimismo, durante estos últimos años el OPA ha estado trabajando en la coordinación mundial con el Sistema internacional de observación medioambiental de las series temporales interdisciplinarias y sostenidas del océano (OceanSITES) y con el Proyecto internacional de coordinación sobre el carbono del océano (IOCCP). Estos programas representan las principales actividades internacionales dedicadas a la ejecución de los sistemas mundiales de observación continuada de los océanos.

Los grupos de puesta en funcionamiento de la CMOMM se centran en la coordinación del despliegue de boyas fijas y a la deriva en alta mar, y también se encargan de coordinar las observaciones efectuadas desde buques voluntarios procedentes de navíos comerciales que viajan por los océanos de todo el mundo y de coordinar también las operaciones realizadas por estaciones dotadas con mareógrafos en un subconjunto fundamental de estaciones que han sido designadas por los Miembros y Estados Miembros para colaborar en la vigilancia mundial del nivel del mar de forma sistemática. El programa Argo se dirige

a establecer y mantener un conjunto mundial de flotadores perfiladores de subsuperficie. El sistema OceanSITES ha adquirido el compromiso de establecer una red mundial dispersa de boyas fijas oceánicas de aguas profundas y de boyas fijas en la subsuperficie oceánica para llevar a cabo una vigilancia, con series de larga duración, tanto del océano como de las interacciones entre el océano y la atmósfera. El proyecto IOCCP está incorporando mediciones de carbono a los buques y redes de boyas, con el fin de observar el papel que desempeña el océano en el ciclo mundial del carbono. Los enfoques de todos estos grandes programas internacionales son necesarios para crear un sistema integral de observaciones mundiales continuadas de los océanos y, a través del trabajo conjunto, se abren multitud de oportunidades para aumentar de manera notable la eficacia de las acciones.

Se ha experimentado un avance importante en la puesta en funcionamiento de las redes de observación desde la CMOMM-I de 2001. La totalidad del sistema compuesto oceánico in situ marcó un importante hito en febrero de 2005, cuando superó el 50% de la marca de finalización. En la época de la CMOMM-I, se estimaba que el sistema contaba con un índice de finalización

del 34 por ciento, que puede compararse con la estimación actual del 59 por ciento, según los cálculos de la CMOMM-III. Estos porcentajes se basan en los objetivos del sistema identificados en el SMOC-92. Los últimos ocho años de progresos y la planificación relativa para los próximos tres años, tal y como se presentaron en la COMM-II, son dos puntos que aparecen resumidos de manera gráfica en la Figura 2. Se ha progresado mucho, pero el trabajo sólo se ha completado en un 60 por ciento. Ahora queda de manifiesto que la finalización del sistema inicial de observación del clima de los océanos para 2010, tal y como prevé la planificación de la Figura 2, no es una opción realista. La conclusión de este sistema requerirá una sustanciosa inversión anual adicional por parte de los Miembros y Estados Miembros.

Hasta la fecha, se han logrado dos hitos importantes: en septiembre de 2005, el Grupo de cooperación sobre boyas de acopio de datos alcanzó el objetivo inicial de diseño del sistema, traducido en 1 250 boyas de superficie a la deriva en funcionamiento continuo; y el Equipo director del programa Argo, en octubre de 2007, logró alcanzar también el objetivo inicial de diseño del sistema, con 3 000 flotadores perfiladores activos en funcionamiento. El conjunto mundial de boyas a la deriva se convirtió en el primer componente completado del Sistema Mundial de Observación de los Océanos (SMOO) inicial. Se necesitaron diez años para lograr este éxito desde que la comunidad internacional comenzara la puesta en marcha del SMOO con la publicación del Diseño científico para el módulo común del Sistema Mundial de Observación de los Océanos y del Sistema Mundial de Observación del Clima por parte del Grupo de expertos en el Desarrollo del Sistema de observación de los océanos, en 1995.

La sostenibilidad a largo plazo sigue siendo un asunto que hay que abordar, puesto que muchos de los programas nacionales Argo y GCBD continúan respaldándose por la financiación a la investigación. La sostenibilidad está justificada tanto para las aplicaciones de investigación como para las de carácter operativo. Los científicos del clima han utilizado en gran medida los datos de boyas a la deriva para medir el cambio mundial de la temperatura de la super-

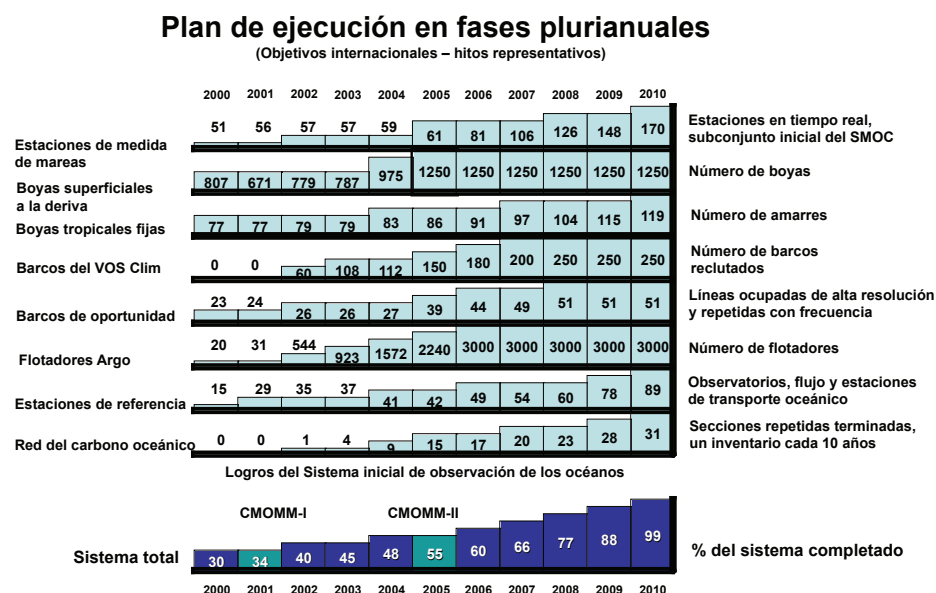


Figura 2 – Historial y planificación futura para la implantación de los elementos in situ del sistema de observación de los océanos. El plan presentado a la CMOMM-II prevé la finalización del sistema inicial de observación del clima oceánico antes de 2010, para lo que hará falta una importante inversión adicional por parte de los Miembros y Estados Miembros.

ficie del mar, y los centros operativos han empleado esos datos para la inicialización de modelos de predicción climática y meteorológica. Los datos del programa Argo cada vez se utilizan más para estudios climáticos y para simular el comportamiento del océano y del clima. Se ha puesto de relieve el valor de los datos Argo en la mejora de las predicciones oceánicas. Argo se encuentra actualmente en fase de transición, desde su fase de puesta en marcha hasta su fase de mantenimiento continuado. Esta última optimizará el diseño del conjunto, abordará nuevos desafíos (por ejemplo, la ampliación de la vida útil de los flotadores más allá de los cuatro años) y permitirá un mayor desarrollo de la calidad y utilidad de los datos.

## Informe de seguimiento y rendimiento de todo el sistema

Otro de los grandes desafíos del Área del Programa de Observaciones de la CMOMM es desarrollar informes de rendimiento de fácil comprensión que puedan ayudar a evaluar la eficacia del sistema compuesto de observación y a convencer a los gobiernos para que

suministren la financiación necesaria a fin de cumplir los objetivos mundiales de ejecución. No será posible lograr una cobertura total de los océanos de la Tierra con los recursos actuales. Tal y como se señaló anteriormente, el sistema existente tan solo está completo en un 59 por ciento, lo cual significa que el 41 por ciento del océano mundial sigue adoleciendo, fundamentalmente, de observaciones. Los gobiernos deben destinar recursos adicionales con el fin de lograr una cobertura global completa. El centro de apoyo operativo a la CMOMM (JCOMMOPS) ha estado trabajando con el OPA con la intención de desarrollar mapas normalizados de referencia que muestren lo que se necesita frente a lo que existe actualmente, a fin de valorar el estado y la eficacia de los sistemas de observación, así como de desarrollar informes resumen para ilustrar cómo los avances hacia la cobertura mundial mejoran la eficacia de la información obtenida a partir de las observaciones.

Actualmente, el OPA ha aprobado una proyección normalizada de mapa para emitir informes acerca del estado actual del sistema y de sus progresos. Se trata de una proyección cilíndrica equidistante, de 90°N a 90°S, con ruptura a 30°E. El JCOMMOPS utiliza además un conjunto normalizado de colores, que



# Retos que se plantean ante los Miembros y Estados Miembros a la hora de completar el sistema mundial

## Grupo de cooperación sobre boyas de acopio de datos

- Despliegue y mantenimiento de un dispositivo ininterrumpido de 1 250 boyas superficiales a la deriva (actualmente, 100% completado) con el fin de medir la temperatura de la superficie del mar y las corrientes superficiales.
- Adición de barómetros en la totalidad de boyas a la deriva (en la actualidad hay 500 barómetros en servicio) para medir la presión al nivel del mar.
- Ampliación de la red de boyas tropicales fijas en el Océano Índico (se han desplegado 15 emplazamientos de un total de 47) para completar la cobertura de las regiones ecuatoriales de los océanos Atlántico, Pacífico e Índico: el motor térmico de las configuraciones climáticas y meteorológicas a nivel mundial.
- Coordinación con el sistema OceanSITES para la utilización común de plataformas y apoyo logístico.

## Equipo de observaciones realizadas desde buques

- Mejora de los informes de los buques de observación voluntaria (VOS) sobre el tiempo en la mar y las condiciones de la superficie del océano (de los aproximadamente 6 700 buques registrados, menos de 2 300 informan con regularidad).
- Puesta en marcha de 250 buques VOS Clima (VOSCLIM) (actualmente existen 218 buques) como un subgrupo de alta calidad para el análisis climático de los registros de larga duración que han guardado los buques comerciales.
- Puesta en marcha de sistemas meteorológicos automáticos en buques voluntarios (actualmente 140 buques) con el fin de aumentar los boletines en tiempo real de predicción del tiempo y sobre el clima.
- Ocupación íntegra de 51 líneas de batitermógrafos de alta resolución, repetición frecuente y de duración limitada que fueron definidas en el seminario de 1999 sobre aspectos térmicos de la capa superior oceánica (actualmente 41 líneas) con el fin de medir la estructura térmica y los transportes en el océano superior.
- Coordinación con el Proyecto internacional de coordinación sobre el carbono del océano para utilizar plataformas e infraestructuras de apoyo logístico comunes para las mediciones tanto físicas como químicas a nivel mundial en el océano y en la atmósfera superficial.

## Grupo de expertos del Sistema mundial de observación del nivel del mar

- Mejora de los informes de las estaciones (solamente 176 de las 290 estaciones centrales de la red informan con regularidad) con el fin de proporcionar mediciones continuas y de alta calidad de las mareas y del nivel del mar.
- Puesta en marcha del subgrupo de estaciones de referencia del SMOC, cuyo número asciende a 170 estaciones dotadas de mareógrafo distribuidas en todo el mundo con registros en tiempo real y localización geocéntrica (actualmente, 106 informando en tiempo real) para la vigilancia a largo plazo del cambio climático y el apoyo en tiempo real a los sistemas de alerta de tsunamis.

## Argo

- Mantenimiento de un conjunto global de 3 000 flotadores activos (actualmente en funcionamiento) para medir la temperatura y salinidad de la subsuperficie oceánica.

## OceanSITES

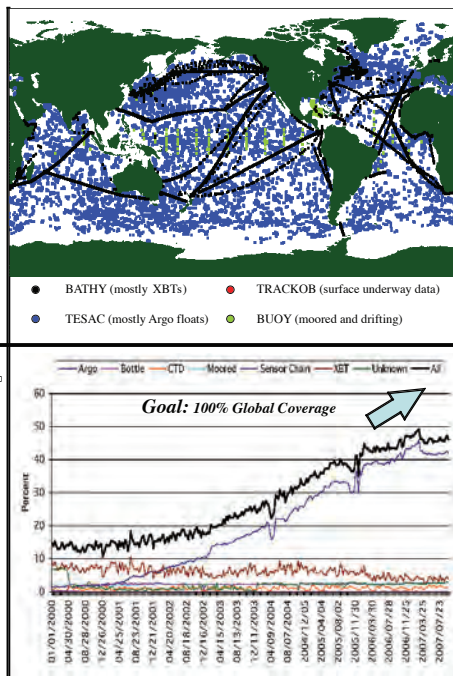
- Establecimiento de una red mundial dispersa de boyas fijas y de boyas fijas en la subsuperficie con el fin de vigilar los diferentes regímenes oceánicos y climáticos y de medir la circulación oceánica a escala mundial (43 emplazamientos actualmente en funcionamiento de un total de 89).

## Proyecto internacional de coordinación sobre el carbono del océano

- Realización de un completo registro del carbono contenido en el océano mundial una vez cada diez años, mediante la utilización de buques oceanográficos (20 líneas de un total de 37 han sido nuevamente inspeccionadas), y vigilancia del intercambio de dióxido de carbono entre el océano y la atmósfera a partir de barcos de observación voluntaria y boyas fijas.

## Estado del Sistema de Observación: trimestre I/2007, perfiles de temperatura.

Requisitos de muestreo:  
1 perfil  
Cada 10 días  
En cada caja de  $3^\circ \times 3^\circ$



**Figura 3 – Informe del estado y rendimiento del primer trimestre de 2007, en el que se muestra con qué calidad el actual sistema de observación mide una variable esencial (perfiles de temperaturas subsuperficiales) en relación con el requisito del SMOO/SMOC, traducido en un perfil cada 10 días con una resolución horizontal de  $3^\circ \times 3^\circ$ .**

señala las aportaciones de cada país. Para indicar el rendimiento del sistema se empleará una escala de colores (rojo, naranja, amarillo, verde y azul): el rojo representa zonas de pocas observaciones, mientras que el azul representa zonas que cuentan con una observación adecuada. Para ilustrar las mediciones se utilizará el siguiente código: los colores vivos (rojo) se emplearán para temperaturas cálidas, generalmente para valores elevados y profundidades oceánicas de poca magnitud, mientras que los colores fríos (azules) se emplearán para temperaturas más bajas, generalmente para valores pequeños y mediciones oceánicas efectuadas a gran profundidad. Se ha animado a todos los Miembros y Estados Miembros a que empleen estos convenios a la hora de registrar en mapas sus aportaciones al sistema de observación.

Además de las estadísticas realizadas por el JCOMMOPS para las plataformas, actualmente se dispone de informes trimestrales de temperatura y salinidad de la superficie del mar, perfiles de temperatura y de salinidad, corrientes en las proximidades de la superficie y almacenamiento de calor de la capa de mezcla oceánica. El OPA está trabajando para incorporar informes de otras

variables oceánicas que han sido especificadas por el SMOO y el SMOC. Se puede acceder a estos informes a través del JCOMMOPS, en la dirección [http://www.jcommops.org/network\\_status](http://www.jcommops.org/network_status). En la Figura 3 se muestra un ejemplo de los tipos de informes trimestrales disponibles sobre el rendimiento; en este caso, el relativo a los perfiles de temperatura en la subsuperficie.

Puede encontrarse un informe de progreso consolidado, con aportaciones de los países, en la dirección [http://www.jcommops.org/network\\_status](http://www.jcommops.org/network_status), donde se incluye la lista de 73 países, y la Unión Europea, que mantienen los elementos correspondientes al sistema mixto de observación del océano, así como la cifra de plataformas in situ y de material fungible aportados por cada país. Este informe permite realizar un seguimiento del progreso seguido en el camino hacia la implantación del sistema oceánico definido en el SMOC-92. Todos los Miembros y Estados Miembros de la CMOMM están invitados a revisar con carácter rutinario este informe y a aportar correcciones, según se considere necesario, en la dirección [opa@jcommops.org](mailto:opa@jcommops.org). (Las aportaciones al sistema de observación sólo se incluyen en este informe si ofrecen datos a

la comunidad internacional de acuerdo con las políticas de datos de la OMM y de la COI).

Se ha desarrollado una página web para ofrecer la posibilidad de acceder a un único portal de entrada que tenga enlaces a todas las páginas web propiedad de los países que contribuyen al desarrollo del sistema mundial de observación de los océanos. Este portal único está destinado a ilustrar la red de sistemas que está implantando la CMOMM y los programas asociados. Este portal de acceso a las páginas web de los centros nacionales está disponible a través del enlace del JCOMMOPS: [http://www.jcommops.org/network\\_status](http://www.jcommops.org/network_status). Animamos a los Miembros y Estados Miembros a revisar este sitio web y hacer llegar las correcciones necesarias al respecto a través de la dirección [opa@jcommops.org](mailto:opa@jcommops.org).

El OPA también ha estado trabajando para desarrollar una herramienta web para el Centro de seguimiento del sistema de observación (OSMC) que mantenga la capacidad de seguimiento en tiempo real con un servidor de acceso en vivo y proporcione búsquedas en internet y visualización de datos de cara al análisis y la evaluación del sistema (<http://www.osmc.noaa.gov>). Los datos y metadatos en tiempo real se obtienen a partir de multitud de fuentes, entre las que se incluyen el Sistema Mundial de Telecomunicación, el JCOMMOPS y servidores de datos basados en protocolo web, y se almacenan en los servidores del OSMC durante cinco años, para su consulta y análisis. Este sistema complementa al sistema de control del JCOMMOPS, que ofrece colecciones de metadatos, seguimientos mensuales y archivos a largo plazo del estado del sistema de observación y su evolución. Gracias a la utilización de ambos sistemas, los administradores de sistemas y otros usuarios ya cuentan con la capacidad de generar sus propios informes personalizados para atender necesidades mundiales o regionales concretas a través del uso de esta infraestructura internacional de gestión de sistemas de observación.

## Trabajando unidos

Desde la catástrofe provocada por el tsunami del Océano Índico en diciembre de 2004, la puesta en marcha de un



*Figura 4 – Boya chilena de alerta de tsunamis en fase de mantenimiento por parte del buque norteamericano de investigación Ronald H. Brown a través de un equipo chileno/norteamericano durante una misión climática destinada al mantenimiento de la estación oceánica de referencia “Stratus”. Se instalaron sensores meteorológicos en la boya de tsunamis para convertirla en una plataforma multiusos. A lo largo de esta misión también se desplegaron boyas superficiales a la deriva para aportar información al GCBD, así como flotadores perfiladores para el programa Argo.*

sistema mundial integral de alerta de riesgos en el mar se ha convertido en una prioridad absoluta de la agenda internacional en cuanto a temas oceánicos se refiere. Actualmente se está avanzando en las oportunidades de coordinación de la CMOMM y el sistema OceanSITES con los sistemas internacionales de alerta de peligro marino, entre las que se incluyen los informes en tiempo real provenientes de las estaciones del GLOSS dotadas de mareógrafos, el despliegue coordinado de boyas oceánicas y la utilización de localizaciones, plataformas comunes e infraestructuras logísticas para fines múltiples relacionados con la observación. La implantación coordinada de componentes observacionales que respalden los sistemas internacionales integrales de alerta de peligros en el mar representa actualmente un elemento impulsor principal del plan de trabajo del OPA de la CMOMM.

En la Figura 4 puede verse un ejemplo de implantación coordinada de un sistema. Muestra una boya chilena de alerta de tsunamis en plena fase de revisión por parte del buque norteamericano de investigación *Ronald H. Brown* durante una misión climática desarrollada en octubre de 2007 para el mantenimiento anual de la boya fija “Stratus”, perte-

neciente al sistema OceanSITES, en la zona oriental del Océano Pacífico. Tanto la boya de tsunamis como la boya Stratus (la boya Stratus aparece en la Figura 1, representando a la red mundial de boyas fijas de referencia) fueron desplegadas de forma conjunta por parte de un equipo chileno/norteamericano a través de la utilización de la misma infraestructura de buques de apoyo. Se instalaron sensores meteorológicos en la boya de tsunamis para convertirla en una plataforma multiusos. A lo largo de esta misión también se desplegaron boyas superficiales a la deriva para aportar información al Grupo de cooperación sobre boyas de acopio de datos, así como flotadores perfiladores para el programa Argo. Una cooperación internacional, interdisciplinar e interprogramática, como la de este ejemplo, posibilitará un desarrollo eficaz y eficiente del Sistema Mundial de Observación de los Océanos.

## Conclusión

El hecho de lograr reunir a las redes oceanográficas y de observación meteorológica marina bajo el paraguas de la CMOMM ha puesto de manifiesto la eficacia de una “aproximación sistémica” a la observación de la Tierra. De cara

al futuro, el XV Congreso Meteorológico Mundial (Ginebra, mayo de 2007) ya inició un proceso para integrar los componentes de observación pertenecientes a la totalidad de los programas de la OMM. Aunque se propuso un enfoque paso a paso hacia el desarrollo del Sistema mundial integrado de observación de la OMM (WIGOS), el Congreso recomendó la creación de un número determinado de actividades piloto, entre las que se incluía la integración de los programas de la CMOMM que respaldaban el desarrollo del Sistema Mundial de Observación de los Océanos y del Sistema Mundial de Observación del Clima, a través del trabajo junto con otras organizaciones internacionales clave, como la COI. Los proyectos piloto promoverán: la interrelación entre los sistemas de datos oceánicos en el seno del sistema de información de la OMM; la documentación exhaustiva y la integración de normas y buenas prácticas dentro de las comunidades meteorológica y oceanográfica; y el desarrollo de sistemas apropiados para la gestión de la calidad. Cabe esperar que el proyecto piloto de la CMOMM para el WIGOS mejore la accesibilidad a datos de calidad conocida, tanto en tiempo real como en modo diferido, y suministrados según normas acordadas con el fin de ajustarse a los cada vez mayores requisitos de la predicción numérica del tiempo, la predicción oceánica, la predicción climática, la reducción de riesgos de desastres, los servicios marinos y la investigación del sistema terrestre.